Iron

The aesthetic objective for iron in drinking water is *≤0.3 mg/L (≤300 µg/L).*

General

Iron is the fourth most abundant element in the earth's crust and the most abundant heavy metal; it is present in the environment mainly as Fe(II) or Fe(III).

The most important commercial iron ores are magnetite, siderite, limonite and haematite. The principal Canadian iron ore deposits are located in Ontario, Quebec and Newfoundland. In 1984, more than 40 million tonnes of iron ores were mined, five million tonnes were imported and nearly 31 million tonnes were exported.[1]

The main use of iron ores in Canada is steel production, which consumed more than 14 million tonnes in 1984, one-half of which was supplied by iron and steel scrap metal recycling.[2] Most of the ore smelting and scrap metal recycling operations in Canada are localized in Hamilton and Sault Ste. Marie, Ontario, and in Sydney, Nova Scotia.[2] Iron is also used in the production of paint pigments, polishing agents and electrical materials.

Occurrence

Iron is generally present in surface waters as salts containing Fe(III) when the pH is above 7. Most of those salts are insoluble and settle out or are adsorbed onto surfaces; therefore, the concentration of iron in well-aerated waters is seldom high. Under reducing conditions, which may exist in some groundwaters, lakes or reservoirs, and in the absence of sulphide and carbonate, high concentrations of soluble Fe(II) may be found.[3] The presence of iron in natural waters can be attributed to the weathering of rocks and minerals, acidic mine water drainage,[4] landfill leachates,[5] sewage effluents[6] and iron-related industries.[7]

The concentrations of iron in Canadian surface waters are generally below 10 mg/L. Data from NAQUADAT stations during the period 1980 to 1985 indicate that iron concentrations ranged from <0.001 mg/L to as high as 90.0 mg/L.[8] In the Experimental Lakes Area of northwestern Ontario, a mean iron concentration of 0.081 mg/L was recorded in September 1973, whereas an iron concentration of 0.035 mg/L was measured in a small acidic lake near Sudbury, Ontario.[9] An average iron concentration of 0.12 mg/L was reported in 1976 for the Great Lakes; near industrial sources, concentrations ranged from 0.3 to 0.7 mg/L.[7] In September 1985, iron concentrations of 0.723 and 0.055 mg/L were recorded in Lake Huron (at Goderich, Ontario) and in Lake Superior (at Thunder Bay, Ontario), respectively.[10]

Data from a limited number of Canadian drinking water stations show that the concentration of iron in drinking water is usually below 1 mg/L and is often less than 0.3 mg/L.[3] Most water treatment processes remove insoluble iron, the principal form found in aqueous systems. Thus, in Ontario, the mean iron concentration of raw water, sampled in 17 stations during 1985, was 0.339 mg/L, whereas treated water had a mean concentration of 0.046 mg/L.[10]

Iron is generally present in the atmosphere as a result of emissions from the iron and steel industry, thermal power plants and incineration.[11] In a 1982 air quality survey across Ontario, the spatial distribution pattern of trace metals, including iron, in precipitation and air was monitored.[12] There was a general decreasing trend across the province, from south to north, for iron concentrations in air and precipitation and for dry and wet deposition of iron. The mean concentration of iron in air ranged from 0.110 $\mu g/m^3$ in the south to 0.091 $\mu g/m^3$ in the north. Similarly, the mean annual dry deposition of iron ranged from 36.22 mg/m^2 in the south to 29.91 $\mu g/m^2$ in the north. The mean annual wet deposition of iron (through precipitation) ranged from 44.8 mg/m^2 in the south to 28.1 mg/m^2 in the north.[12] The results of a 10-year survey showed that the mean concentration of iron in air in Ontario, for the years 1981 to 1985, remained stable at 0.7 to 0.8 $\mu g/m^3$.[13] An analysis of the total suspended particulate matter over Edmonton showed that the mean concentration of iron in air ranged from 1.66 $\mu g/m^3$ in November 1978 to 4.10 $\mu g/m^3$ in July/August 1979.[14]

Foods vary considerably in iron content. Cereals (mean: 0.0295 mg/g) and meat (mean: 0.0262 mg/g) are the main dietary sources of this element.[15] The iron concentration of most other natural foods is less than 0.020 mg/g.[16,17] Concentrations may be somewhat higher in foods fortified with iron or in foods cooked

with iron utensils.[18] Evidence suggests that the iron content of foodstuffs decreases during boiling.[19]

Canadian Exposure

The daily intake of iron from typical Canadian diets has been estimated to be 15.4 mg in Halifax,[20] 19.4 mg in the Ottawa–Hull area,[15] 17.6 mg in Winnipeg[21] and 17.8 mg in Vancouver.[20] The average of these values, 17.6 mg, is comparable to estimates (for food and water) made in the United States (15 mg)[22] and Europe (22 mg).[19]

If the daily water consumption for an average Canadian adult is assumed to be 1.5 L and the average iron content of Canadian drinking water is assumed to be 0.046 mg/L (1985 Ontario mean concentration),[10] the average daily adult intake of iron from drinking water can be calculated to be approximately 0.07 mg. A daily intake of 0.9 mg has been estimated for Europe.[19] The intake of iron from food is, therefore, substantially higher than that from drinking water.

If the average concentration of iron in air in Canada is assumed to be 0.0018 mg/m^3 (the mean of the values recorded in Alberta and Ontario)[13,14] and the daily respiratory volume for an average adult is 20 m^3, then the daily adult intake of iron from air would be 0.036 mg. One estimate of the iron intake from air in the United States is 0.084 mg.[22]

Based on the above considerations, the total daily intake of iron from food, air and water for an average adult would be 18 mg.

Analytical Methods and Treatment Technology

Iron concentrations in water can be determined using atomic absorption spectrometry or by colorimetric methods. The lowest detection limit using these methods is 10 µg/L.[23]

The removal of iron from groundwater supplies is fairly common and is often done in conjunction with manganese removal. Iron removal often consists of oxidation of soluble Fe(II) to insoluble Fe(III) using chlorine, potassium permanganate or ozone as the oxidants.[24,25] This is followed by liquid/solid separation, which usually consists of filtration only, although sedimentation is sometimes employed prior to filtration.[26] Surface water treatment plants designed for turbidity removal will generally reduce iron to acceptable levels as long as the iron is not complexed by organics or natural silicas.[26]

Health Considerations

Essentiality

Iron, an essential element in human nutrition, is an integral component of cytochromes, porphyrins and metalloenzymes. Dietary iron requirements vary according to sex and age; older infants, children and women of menstrual age are most vulnerable to iron deficiency. The Canadian Recommended Nutrient Intake for adults is 8 mg/d for men, 14 mg/d for women of menstrual age and 7 mg/d for post-menopausal women.[27]*

The effects of iron deficiency can include impaired mental development and performance in children,[28] elevated catecholamines and restlessness in children,[29] reduced work performance in adults and, in severe cases, anaemia and impaired oxygen delivery.[30]

Absorption, Distribution and Excretion

The absorption of iron varies considerably, depending on the amount and chemical form of the iron in the diet, the iron status of the body and the presence of other substances in the diet, notably calcium, phytin and phosphate. There are also wide age- and sex-dependent variations. Absorption ranges from 1 to 70% during the first year of life to about 10% in young children. Adults absorb an average of 6.5% (range 3 to 10%), with women absorbing up to four times as much as men.[26,31]

In the bloodstream, iron binds to transferrin and is transported to the spleen, bone marrow and liver, which are the main storage sites for endogenous iron. In the reticuloendothelial cells of the liver, iron is bound to haemosiderin; in the parenchymal cells, it is bound to ferritin.[32]

Because absorption is low and because iron is recycled in the body, the amount of faecal iron is similar to the amount of dietary iron. Less than 1 mg/d of endogenous iron is lost by the skin, faeces and urine.[33]

Toxic Effects

The ingestion of large quantities of iron results in haemochromatosis, a condition in which normal regulatory mechanisms do not operate effectively, leading to tissue damage as a result of the accumulation of iron. This condition rarely develops from simple dietary overloading.[17,34,35] Tissue damage has occurred, however, in association with excessive intake of iron from alcoholic beverages in some cases of alcoholism. Tissue damage has also resulted from prolonged consumption of acidic foodstuffs cooked in iron kitchenware.[35]

Poisoning of small children has occurred following ingestion of large quantities of iron tablets.[36] As adult iron tablets can contain considerably more elemental iron than children's tablets, children who accidentally

*A 1990 report of the Department of National Health and Welfare (*Nutrition recommendations. The report of the Scientific Review Committee*) gives the recommended dietary intake of iron in Canada as 9.0 mg/d for men, 13 mg/d for women of menstrual age and 8.0 mg/d for post-menopausal women.

ingest iron supplements destined for adults risk being poisoned.[37] Three grams of Fe(II) sulphate is regarded as the lethal dose for two-year-olds. Between 14 and 17.5 g is the lethal dose for an adult male.[38] Iron supplements are commonly used (14% of pre-menopausal Canadian women in one study) without reported toxic effects, except for gastrointestinal upset.[39]

There is no evidence of dietary iron toxicity in the general population. Because absorption is regulated, body tissues are generally not exposed to high iron concentrations. Pharmaceutical sources and disease states, such as idiopathic haemochromatosis[40] and thalassaemia major (which requires many blood transfusions), will result in elevated iron concentrations. Those individuals who do develop an iron overload are reported to be at greater risk of developing neoplasms.[41]

Other Considerations

The presence of iron in water supplies intended for domestic use is objectionable for a number of reasons that are unrelated to health.[26,42,43] Under the pH conditions prevalent in drinking water supplies, Fe(II) salts are unstable and react with water to form insoluble hydroxides, which settle out as rust-coloured silt. Water in which this occurs often tastes and appears unpalatable and can stain laundry and plumbing fixtures. In the distribution system, iron can settle out in the mains and gradually reduce the flow rate through the pipe. Iron can also promote the growth of "iron bacteria"; these micro-organisms derive energy from the oxidation of Fe(II) to Fe(III), and, in the process, a slimy coating is deposited in the water distribution pipes. The above problems usually arise when the iron concentration exceeds 0.3 mg/L.

Attempts to derive a taste threshold for iron in drinking water have produced somewhat inconsistent results owing to the subjective nature of human sensory perception. However, in a frequently cited study, Cohen et al. reported that 5% of a 15- to 20-member taste test panel were able to detect ferrous sulphate in distilled water at a concentration of 0.04 mg/L, approximately 20% detected a concentration of 0.3 mg/L, and 50% detected a concentration of 3.4 mg/L.[43]

Rationale

1. Iron is an essential element in human nutrition; however, intake of iron from a typical Canadian diet is more than sufficient to meet the minimum daily requirement. Toxic effects have resulted from the ingestion of large quantities of iron, but there is no evidence to indicate that concentrations of iron commonly present in food or drinking water constitute any hazard to human health. Therefore, a maximum acceptable concentration has not been set.

2. At concentrations above 0.3 mg/L, iron can stain laundry and plumbing fixtures and produce undesirable tastes in beverages. The precipitation of excessive iron imparts an objectionable reddish-brown colour to water. Iron may also promote the growth of certain micro-organisms, leading to the deposition of a slimy coating in water distribution pipes.

3. Generally, only a small percentage of the population will be able to taste iron in drinking water at concentrations below 0.3 mg/L.

4. The aesthetic objective for iron in drinking water is therefore ≤0.3 mg/L.

References

1. Boyd, B.W. Iron ore. In: Canadian minerals yearbook 1983-84. Review and outlook. Mineral Resources Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa (1985).

2. McInnis, R. Iron and steel. In: Canadian minerals yearbook 1985. Mineral Resources Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa (1986).

3. Hem, J.D. Chemical factors that influence the availability of iron and manganese in aqueous systems. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 140: 17 (1972).

4. Bell, A.V. Base metal mine waste management in Canada. In: Minerals and the environment. Institute of Mining and Metallurgy, London, U.K. (1975).

5. James, S.C. Metals in municipal landfill leachate and their health effects. Am. J. Public Health, 67: 429 (1977).

6. Oliver, B.G. and Cosgrove, E.G. Metal concentrations in the sewage, effluents and sludges of some southern Ontario wastewater treatment plants. Environ. Lett., 9: 75 (1975).

7. Great Lakes Water Quality Board. Fourth annual report p. 45 (1976).

8. National Water Quality Data Bank (NAQUADAT). Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa (1985).

9. Beamish, R.J. and Van Loon, J.C. Precipitation loading of acid and heavy metals to a small acid lake near Sudbury, Ontario. J. Fish. Res. Board Can., 34: 649 (1977).

10. Ontario Ministry of the Environment. Drinking water monitoring data. Unpublished (1987).

11. Sullivan, R.J. Air pollution aspects of iron and its compounds. Contract prepared by Litton Systems, Bethesda, MD, for the National Air Pollution Control Administration, U.S. Department of Health, Education and Welfare. Contract No. PH-22-68-25. National Technical Information Service Publ. No. 188088 (1969).

12. Chan, W.H., Tang, A.J.S., Chung, D.H.S. and Lusis, M.A. Concentration and deposition of trace metals in Ontario — 1982. Water Air Soil Pollut., 29: 373 (1986).

13. Ontario Ministry of the Environment. Appendix to: Annual report on air quality in Ontario. Air Quality Assessment Unit, Etobicoke (1987).

14. Klemm, R.F. and Gray, J.M.L. A study of the chemical composition of particulate matter and aerosols over Edmonton. Rep. RMD 82/9, prepared for the Research Management Division by the Alberta Research Council. 125 pp. (1982).

15. Méranger, J.C. and Smith, D.C. The heavy metal content of a typical Canadian diet. Can. J. Public Health, 63: 53 (1972).

16. Gormican, A. Inorganic elements in foods used in hospital menus. J. Am. Diet. Assoc., 56: 397 (1976).

17. Watt, B.K. and Merrill, A.L. Composition of foods — raw, processed, prepared. Revised Agriculture Handbook 8, U.S. Department of Agriculture (1963).

18. Bowering, J. and Macpherson Sanchez, A. A conspectus of research on iron requirements of man. J. Nutr., 106: 985 (1976).

19. Zoeteman, B.C.J. and Brinckman, F.J.S. Intake of minerals by man. In: Hardness of drinking water and public health. Proceedings of the European Scientific Colloquium, Luxembourg, 1975. Pergamon Press, Oxford, U.K. (1976).

20. Kirkpatrick, D.C. and Coffin, D.E. The trace metal content of representative Canadian diets in 1970 and 1971. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., 7(1): 56 (1974).

21. Kirkpatrick, D.C. and Coffin, D.E. The trace metal content of a representative Canadian diet in 1972. Can. J. Public Health, 68: 162 (1977).

22. Heavy metals in the environment. Oregon State University Seminar, January (1973).

23. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th edition. American Public Health Association, Washington, DC (1985).

24. Clark, J.W., Viessman, W., Jr. and Hammer, M.J. Water supply and pollution control. 3rd edition. Harper & Row Publishers, New York, NY. 857 pp. (1977).

25. Walker, R. Water supply, treatment and distribution. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 420 pp. (1978).

26. Canadian Council of Resource and Environment Ministers. Canadian water quality guidelines. Environment Canada, Ottawa (1987).

27. Department of National Health and Welfare. Recommended nutrient intakes for Canadians. Committee for Revision of the Canadian Dietary Standard, Ottawa (1983).

28. Anonymous. Iron deficiency and mental development. Nutr. Rev., 41: 235 (1983).

29. Voorhess, M.L., Stuart, M.J., Stockman, J.A. and Oski, F.A. Iron deficiency anemia and increased urinary iron epinephrine excretion. J. Pediatr., 86: 542 (1975).

30. Sproule, B.J., Mitchell, J.H. and Miller, W.F. Cardiopulmonary physiological response to heavy exercise in patients with anemia. J. Clin. Invest., 39: 378 (1960).

31. International Commission on Radiological Protection. Report No. 23: Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, U.K. 411 pp. (1984).

32. Hershko, C. Storage iron regulation. In: Progress in haematology. Vol. 10. E.B. Brown (ed.). Grune and Stratton, New York, NY. p. 105 (1977).

33. Green, R., Charlton, R., Seftel, H., Bothwell, T., Mayet, F., Adams, B., Finch, C. and Layrisse, M. Body iron excretion in man. A collaborative study. Am. J. Med., 45: 336 (1968).

34. Hopps, H.C. Ecology of disease in relation to environmental trace elements — particularly iron. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 340: 1 (1972).

35. Jacobs, A. Iron overload — clinical and pathologic aspects. Semin. Haematol., 14: 89 (1977).

36. Stein, M., Blayney, D., Feit, T., Goegen, T.G., Micik, S. and Nyhan, W.L. Acute iron poisoning in children. West. J. Med., 125: 289 (1976).

37. Steinhardt-Bour, N.J., Soullier, B.A. and Zemel, M.B. Effect of level and form of phosphorus and level of calcium intake on zinc, iron and copper bioavailability in man. Nutr. Res., 4: 371 (1984).

38. National Academy of Sciences. Recommended dietary allowances. 9th edition. National Academy Press, Washington, DC (1980).

39. Gibson, R.S., Martinez, O. and MacDonald, A.C. Available dietary iron intakes of a selected sample of pre- and post-menopausal Canadian women. Nutr. Res., 4: 315 (1984).

40. Powell, L.W., Bassett, M.L. and Halliday, J.W. Hemochromatosis update. Gastroenterology, 78: 374 (1980).

41. Weinberg, E.D. Iron and neoplasia. Biol. Trace Elem. Res., 3: 55 (1981).

42. Dillman, E., Gale, C., Green, W.E., Johnson, D.G., Mackler, B. and Finch, C. Hypothermia in iron deficiency due to altered tricodothyronine metabolism. Am. J. Physiol., 239(R): 377 (1980).

43. Cohen, J.M., Lamphake, L.J., Harris, E.K. and Woodward, R.L. Taste threshold concentrations of metals in drinking water. J. Am. Water Works Assoc., 52: 660 (1960).

Le fer

Pour des raisons de qualité esthétique ou organoleptique, l'objectif fixé pour la proportion du fer dans l'eau potable est de *≤0,3 mg/L (≤300 µg/L)*.

Généralités

En abondance, le fer est le quatrième élément dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme de Fe (II) ou de Fe (III).

Les principaux minerais de fer d'importance commerciale sont la magnétite, la sidérite, la limonite et l'hématite. Les plus grands gisements de minerai de fer au Canada sont situés en Ontario, au Québec et à Terre-Neuve. En 1984, plus de 40 millions de tonnes de minerai ont été extraites, cinq millions ont été importées et près de 31 millions ont été exportées.(1)

Au Canada, le minerai de fer sert principalement à la production de l'acier. Ce secteur a consommé plus de 14 millions de tonnes de matières premières en 1984, la moitié étant obtenue à partir de ferraille d'acier et de fer.(2) Au Canada, la majorité des fours de fusion et des installations de recyclage de la ferraille sont situés à Hamilton et à Sault-Sainte-Marie, en Ontario, ainsi qu'à Sydney, en Nouvelle-Écosse.(2) Le fer est aussi utilisé dans la production de pigments pour la peinture, d'agents de polissage et de produits électriques.

Présence dans l'environnement

On trouve généralement le fer dans les eaux de surface sous forme de sels contenant du Fe(III) lorsque le pH est supérieur à 7. La plupart de ces sels sont insolubles et sont précipités ou adsorbés sur différentes surfaces. Par conséquent, la concentration de fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. En milieu réducteur, comme dans certaines eaux souterraines, certains lacs ou certains réservoirs, et en l'absence de sulfure et de carbonate, on peut trouver du Fe(II) soluble en concentration élevée.(3) La présence du fer dans des sources naturelles d'approvisionnement en eau est attribuable à la décomposition de la roche et des minéraux, aux eaux acides de drainage des mines,(4) aux eaux de lessivage de décharges contrôlées,(5) aux effluents d'égouts(6) ainsi qu'aux rejets des secteurs industriels qui traitent le fer.(7)

Au Canada, la concentration de fer dans les eaux de surface est généralement inférieure à 10 mg/L. Les données obtenues aux stations NAQUADAT entre 1980 et 1985 indiquent que la concentration varie entre moins de 0,001 mg/L et 90,0 mg/L.(8) Dans le «secteur des lacs expérimentaux», dans le Nord-Ouest de l'Ontario, une concentration moyenne en fer de 0,081 mg/L a été enregistrée en septembre 1973, alors qu'elle était de 0,035 mg/L dans un petit lac acide situé à proximité de Sudbury, en Ontario.(9) On rapporte une concentration moyenne de 0,12 mg/L en 1976 dans les Grands Lacs; près d'effluents industriels, la concentration variait entre 0,3 et 0,7 mg/L.(7) En septembre 1985, on a enregistré des concentrations de fer de 0,723 mg/L et de 0,055 mg/L dans le lac Huron (à hauteur de Goderich, Ontario) et dans le lac Supérieur (à hauteur de Thunder Bay, Ontario), respectivement.(10)

Des données provenant d'un nombre limité de stations d'eau potable au Canada montrent que la concentration de fer dans l'eau potable est ordinairement inférieure à 1 mg/L et est souvent de moins de 0,3 mg/L.(3) La plupart des procédés de traitement de l'eau permettent d'éliminer le fer insoluble, c'est-à-dire la forme principale de fer trouvée dans les systèmes aquatiques. C'est ainsi qu'en Ontario la concentration moyenne de fer dans l'eau brute, échantillonnée à 17 stations au cours de 1985, a été établie à 0,339 mg/L, alors que la concentration moyenne dans l'eau traitée était de 0,046 mg/L.(10)

Le fer trouvé en suspension dans l'atmosphère y est généralement entraîné avec les émissions des installations de l'industrie du fer et de l'acier, des centrales thermiques et des incinérateurs.(11) Au cours d'une étude sur la qualité de l'air à travers l'Ontario, on a vérifié en 1982 la répartition géographique des métaux à l'état de traces, y compris le fer, dans les précipitations et dans l'air.(12) On a observé, du Sud au Nord de la province, une tendance générale à la baisse de la concentration de fer dans l'air et dans les précipitations ainsi que dans les dépôts secs et humides. La concentration moyenne dans l'air variait entre 0,110 µg/m^3 dans le Sud et 0,091 µg/m^3 dans le Nord. De façon similaire, la moyenne annuelle des dépôts secs de fer variait entre 36,22 mg/m^2 dans le Sud et 29,91 µg/m^2 dans le Nord. La moyenne annuelle des dépôts humides (associés aux précipitations) a varié entre 44,8 mg/m^2 dans le Sud et 28,1 mg/m^2 dans le

Nord.[12] Aux termes d'un relevé étalé sur dix ans, on a observé que la concentration moyenne de fer dans l'air de l'Ontario est restée stable, entre 1981 et 1985, à 0,7 ou 0,8 µg/m^3.[13] L'analyse des particules totales en suspension dans l'air au-dessus d'Edmonton a montré que la concentration moyenne dans l'air avait varié, de novembre 1978 à juillet-août 1979, de 1,66 µg/m^3 à 4,10 µg/m^3.[14]

La teneur en fer des aliments varie considérablement. Les céréales (moyenne : 0,0295 mg/g) et la viande (moyenne : 0,0262 mg/g) sont les principales sources alimentaires de cet élément.[15] La teneur en fer de la plupart des autres aliments naturels est inférieure à 0,020 mg/g.[16,17] Elle peut être quelque peu supérieure dans les aliments enrichis de fer ou dans ceux qui sont cuits dans des ustensiles en fer.[18] Il semble que la teneur en fer des produits alimentaires diminue à l'ébullition.[19]

Exposition des Canadiens

On a pu estimer que l'apport journalier de fer dans un régime alimentaire typique est de 15,4 mg à Halifax,[20] de 19,4 mg dans la région de Ottawa-Hull,[15] de 17,6 mg à Winnipeg[21] et de 17,8 mg à Vancouver.[20] La moyenne de ces valeurs est de 17,6 mg; elle est comparable à des estimations (pour les aliments et l'eau) faites aux États-Unis (15 mg)[22] et en Europe (22 mg).[19]

Si, par hypothèse, la consommation quotidienne d'eau d'un adulte moyen, au Canada, est de 1,5 L et que la teneur moyenne en fer de l'eau potable est de 0,046 mg/L (la concentration moyenne notée en Ontario en 1985),[10] l'apport de fer contenu dans l'eau potable peut être chiffré pour l'adulte moyen à 0,07 mg environ par jour. On estime qu'en Europe cette valeur est de 0,9 mg.[19] On voit donc que l'apport de fer alimentaire est beaucoup plus important que celui du fer contenu dans l'eau.

À supposer que la concentration moyenne de fer dans l'air soit au Canada de 0,0018 mg/m^3 (c'est la moyenne des valeurs enregistrées en Alberta et en Ontario)[13,14] et que le volume respiratoire quotidien d'un adulte moyen est de 20 m^3, l'apport quotidien du fer contenu dans l'air serait chez un adulte de 0,036 mg. Aux États-Unis, cette valeur serait de 0,084 mg.[22]

Compte tenu de ce qui précède, on peut estimer que l'absorption quotidienne totale du fer contenu dans les aliments, l'air et l'eau serait de 18 mg pour un adulte moyen.

Méthodes d'analyse et techniques de traitement

Il est possible de déterminer la concentration du fer dans l'eau par spectrométrie d'absorption atomique ou par colorimétrie. Avec ces méthodes, la limite de détection la plus basse est de 10 µg/L.[23]

Il est assez courant d'extraire le fer contenu dans l'eau provenant de sources souterraines d'approvisionnement; on extrait souvent le manganèse en même temps. L'extraction du fer consiste le plus souvent en l'oxydation du Fe(II), soluble, à la forme Fe(III), insoluble, au moyen du chlore, du permanganate de potassium ou de l'ozone, employés comme oxydants.[24,25] Cette opération est suivie d'une séparation liquide/solide, qui consiste ordinairement en une simple filtration; on pratique parfois une décantation avant la filtration.[26] Les stations de purification de l'eau de surface équipées pour extraire les matières qui sont à l'origine de la turbidité de l'eau vont généralement réduire la concentration de fer jusqu'à un niveau acceptable tant et aussi longtemps que le fer n'est pas complexé avec des matières organiques ou des silices naturelles.[26]

Effets sur la santé

Besoins essentiels

Le fer est un élément essentiel à la nutrition; il entre dans la composition des cytochromes, des porphyrines et des métalloenzymes. Les besoins nutritionnels en fer varient selon le sexe et l'âge des personnes; les enfants en bas âge ou plus âgés et les femmes en âge de procréer sont les plus exposés à des carences en fer. Les apports nutritionnels recommandés pour les Canadiens indiquent que, chez les adultes, les hommes ont besoin de huit mg de fer par jour, les femmes en âge de procréer, de quatorze et les femmes post-ménopausées, de sept.[27]*

Les carences en fer peuvent avoir certains effets, notamment une insuffisance du développement mental et de l'activité chez l'enfant,[28] un taux élevé de catécholamines et une tendance à l'agitation chez l'enfant,[29] une perte de rendement au travail chez l'adulte et, dans les cas graves, l'anémie et une oxygénation compromise.[30]

Absorption, distribution et excrétion

L'absorption du fer est très variable et dépend de la quantité et de la forme chimique du fer dans le régime, des réserves en fer de l'organisme et de la présence d'autres substances dans le régime, notamment le calcium, la phytine et les phosphates. En outre, on observe d'importants écarts selon l'âge et le sexe. L'absorption varie entre 1 et 70 % durant la première

* Un rapport du ministère de la Santé nationale et du Bien-être social *(Recommandations sur la nutrition. Rapport du comité de révision scientifique)*, publié en 1990, fixe à 9,0, 13 et 8,0 mg par jour, pour les hommes, les femmes en âge de procréer et les femmes

post-ménopausées, respectivement, les apports alimentaires recommandés au Canada pour ce qui est du fer.

année de vie et se stabilise vers 10 % chez les jeunes enfants. En moyenne, les adultes absorbent 6,5 % du fer (soit entre 3 et 10 %) et les femmes en absorbent jusqu'à quatre fois plus que les hommes.(26,31)

Dans le sang, le fer se fixe à la transferrine, qui le transporte jusqu'à la rate, à la moelle osseuse et au foie, qui sont les principaux sites d'entreposage du fer endogène. Dans les cellules réticuloendothéliales du foie, le fer est fixé à l'hémosidérine; dans les cellules parenchymateuses, il est fixé à la ferritine.(32)

Puisque le pourcentage d'absorption est bas et que le fer est recyclé par l'organisme, la quantité de fer dans les fèces correspond sensiblement à l'apport de fer dans le régime alimentaire. Moins de 1 mg par jour de fer endogène est perdu par la peau, les fèces et l'urine.(33)

Effets toxiques

L'ingestion de grandes quantités de fer produit une hématochromatose; dans cette affection, les mécanismes normaux de régulation n'agissent plus efficacement et il se produit des lésions de tissus par suite de l'accumulation du fer. Cette affection apparaît rarement par suite d'une simple surcharge alimentaire.(17,34,35) On a toutefois observé, dans certains cas d'alcoolisme, des lésions tissulaires associées à des apports excessifs de fer provenant des boissons alcoolisées. La consommation soutenue d'aliments acides cuits dans des plats en fer a aussi causé, dans certains cas, des lésions tissulaires.(35)

L'ingestion de grandes quantités de comprimés de fer a déjà provoqué des intoxications chez de jeunes enfants.(36) Puisque les comprimés de fer pour adultes contiennent parfois beaucoup plus de fer élémentaire que les comprimés pour enfants, l'ingestion accidentelle, par des enfants, de suppléments de fer destinés aux adultes peut provoquer une intoxication.(37) On considère que trois grammes de sulfate de Fe(II) constituent la dose létale pour un enfant de deux ans. La dose létale pour un homme adulte est comprise entre 14 et 17,5 g.(38) Il se fait une bonne consommation de suppléments de fer (une étude cite le chiffre de 14 % des femmes préménopausées) sans qu'on rapporte d'effets toxiques, sinon des troubles gastro-intestinaux.(39)

Il semble que l'on n'a observé aucun signe de toxicité par le fer d'origine alimentaire dans la population en général. Puisque l'absorption est régulée, les organes ne sont généralement pas exposés au fer en forte concentration. Les sources pharmaceutiques de fer et certains états pathologiques tels que l'hématochromatose essentielle(40) ainsi que la thalassémie majeure (laquelle nécessite bon nombre de transfusions sanguines) conduisent à des concentrations élevées en fer. On a signalé que les personnes souffrant d'une surcharge en fer sont davantage exposées à des néoplasmes.(41)

Autres considérations

La présence du fer dans les sources d'approvisionnement en eau pour usage domestique n'est pas souhaitable pour un certain nombre de raisons qui ne sont pas liées directement à la santé.[26,42,43] Dans les conditions de pH généralement observées dans les sources d'approvisionnement d'eau potable, les sels de Fe(II) sont instables; ils réagissent avec l'eau pour former des hydroxydes insolubles qui sédimentent sous la forme d'un limon de couleur rouille. Il arrive souvent que l'eau prenne alors un goût désagréable et paraisse impropre à la consommation; elle peut tacher la lessive et les accessoires de plomberie. Dans le réseau d'aqueduc, le fer peut sédimenter dans les conduites principales et abaisser graduellement le débit. Il peut aussi promouvoir la croissance des ferrobactéries; ce sont des microorganismes qui tirent leur énergie de l'oxydation du Fe(II) en Fe(III). Ce phénomène conduit au dépôt d'une pellicule biologique sur la paroi des conduites d'aqueduc. Ces problèmes apparaissent ordinairement lorsque la concentration du fer dépasse 0,3 mg/L.

Les tentatives faites pour établir un seuil de gustation du fer dans l'eau potable ont conduit à des résultats variables, attribuables au caractère subjectif de la perception sensorielle chez l'être humain. Cependant, dans une étude fréquemment citée, Cohen *et al.* signalent que 5 % d'un jury de dégustateurs composé de 15 à 20 membres pouvaient détecter la présence de sulfate ferreux dans l'eau distillée en concentration de 0,04 mg/L, qu'environ 20 % la détectaient en concentration de 0,3 mg/L et que 50 % la détectaient en concentration de 3,4 mg/L.[43]

Justification

1. Le fer est un élément essentiel à la nutrition. Au Canada, les aliments en contiennent généralement plus qu'il n'en faut pour satisfaire les besoins quotidiens minimaux. L'ingestion de grandes quantités de fer a des effets toxiques, mais rien n'indique que la concentration de fer communément observée dans les aliments et l'eau potable constitue un danger pour la santé. Par conséquent, une concentration maximale acceptable n'a pas été déterminée.

2. En concentration supérieure à 0,3 mg/L, le fer peut tacher la lessive et les appareils de plomberie et donner un goût déplaisant aux boissons. La précipitation du fer en excès donne à l'eau une couleur rouge brun désagréable. Le fer peut aussi stimuler la multiplication de certains microorganismes qui finissent par former une pellicule biologique dans les conduites d'aqueduc.

3. En général, une petite partie de la population seulement pourra déceler le goût du fer dans l'eau potable en concentration inférieure à 0,3 mg/L.

4. Au plan de la qualité esthétique ou organoleptique, l'objectif fixé pour le fer dans l'eau potable est de ≤0,3 mg/L.

Références bibliographiques

1. Boyd, B.W. Iron ore. Dans : Annuaire des minéraux du Canada 1983-84. Aperçu et perspectives. Direction des ressources minérales, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa (1985).

2. McInnis, R. Iron and steel. Dans : Annuaire des minéraux du Canada 1985. Direction des ressources minérales, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa (1986).

3. Hem, J.D. Chemical factors that influence the availability of iron and manganese in aqueous systems. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 140 : 17 (1972).

4. Bell, A.V. Base metal mine waste management in Canada. Dans : Minerals and the environment. Institute of Mining and Metallurgy, Londres, R.-U. (1975).

5. James, S.C. Metals in municipal landfill leachate and their health effects. Am. J. Public Health, 67 : 429 (1977).

6. Oliver, B.G. et Cosgrove, E.G. Metal concentrations in the sewage, effluents and sludges of some southern Ontario wastewater treatment plants. Environ. Lett., 9 : 75 (1975).

7. Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs. Fourth annual report, p. 45 (1976).

8. Base nationale de données sur la qualité des eaux (NAQUADAT). Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada (1985).

9. Beamish, R.J. et Van Loon, J.C. Precipitation loading of acid and heavy metals to a small acid lake near Sudbury, Ontario. J. Fish. Res. Board Can., 34 : 649(1977).

10. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Drinking water monitoring data. Inédit (1987).

11. Sullivan, R.J. Air pollution aspects of iron and its compounds. Contract prepared by Litton Systems, Bethesda, MD, for the National Air Pollution Control Administration, U.S. Department of Health, Education and Welfare. Contract No. PH-22-68-25. National Technical Information Service, publ. nº 188088 (1969).

12. Chan, W.H., Tang, A.J.S., Chung, D.H.S. et Lusis, M.A. Concentration and deposition of trace metals in Ontario — 1982. Water Air Soil Pollut., 29 : 373 (1986).

13. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Annual report on air quality in Ontario (Appendix). Air Quality Assessment Unit, Etobicoke (1987).

14. Klemm, R.F. et Gray, J.M.L. A study of the chemical composition of particulate matter and aerosols over Edmonton. Rep. RMD 82/9, prepared for the Research Management Division by the Alberta Research Council. 125 pp. (1982).

15. Méranger, J.C. et Smith, D.C. The heavy metal content of a typical Canadian diet. Can. J. Public Health, 63 : 53 (1972).

16. Gormican, A. Inorganic elements in foods used in hospital menus. J. Am. Diet Assoc., 56 : 397 (1976).

17. Watt, B.K. et Merrill, A.L. Composition of foods — raw, processed, prepared. Revised Agriculture Handbook 8, U.S. Department of Agriculture (1963).

18. Bowering, J. et Macpherson Sanchez, A. A conspectus of research on iron requirements of man. J. Nutr., 106 : 985 (1976).

19. Zoeteman, B.C.J. et Brinckman, F.J.S. Intake of minerals by man. Dans : Hardness of drinking water and public health. Proceedings of the European Scientific Colloquium, Luxembourg, 1975. Pergamon Press, Oxford, U.K. (1976).

20. Kirkpatrick, D.C. et Coffin, D.E. The trace metal content of representative Canadian diets in 1970 and 1971. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., 7(1) : 56 (1974).

21. Kirkpatrick, D.C. et Coffin, D.E. The trace metal content of a representative Canadian diet in 1972. Can. J. Public Health, 68 : 162 (1977).

22. Heavy metals in the environment. Oregon State University Seminar, janvier (1973).

23. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16e édition. American Public Health Association, Washington, DC (1985).

24. Clark, J.W., Viessman, W., Jr. et Hammer, M.J. Water supply and pollution control. 3e édition. Harper & Row Publishers, New York, NY, 857 pp. (1977).

25. Walker, R. Water supply, treatment and distribution. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 420 pp.(1978).

26. Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement. Recommandations pour la qualité des eaux au Canada. Environnement Canada, Ottawa (1987).

27. Santé et Bien-être social Canada Apports nutritionnels recommandés pour les Canadiens, Committee for Revision of the Canadian Dietary Standard, Ottawa, (1983).

28. Anonyme. Iron deficiency and mental development. Nutr. Rev., 41 : 235 (1983).

29. Voorhess, M.L., Stuart, M.J., Stockman, J.A. et Oski, F.A. Iron deficiency anemia and increased urinary iron epinephrine excretion. J. Pediatr., 86 : 542 (1975).

30. Sproule, B.J., Mitchell, J.H. et Miller, W.F. Cardiopulmonary physiological response to heavy exercise in patients with anemia. J. Clin. Invest., 39 : 378 (1960).

31. International Commission on Radiological Protection. Report No. 23: Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, U.K., 411 pp. (1984).

32. Hershko, C. Storage iron regulation. Dans : Progress in haematology. Vol. 10, E. B. Brown (dir. de publ.). Grune and Stratton, New York, NY. p. 105 (1977).

33. Green, R., Charlton, R., Seftel, H., Bothwell, T., Mayet, F., Adams, B., Finch, C. et Layrisse, M. Body iron excretion in man. A collaborative study. Am. J. Med., 45 : 336 (1968).

34. Hopps, H. C. Ecology of disease in relation to environmental trace elements — particularly iron. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 340 : 1 (1972).

35. Jacobs, A. Iron overload — clinical and pathologic aspects. Semin. Haematol., 14 : 89 (1977).

36. Stein, M., Blayney, D., Feit, T., Goegen, T. G., Micik, S. et Nyhan, W. L. Acute iron poisoning in children. West. J. Med., 125 : 289 (1976).

37. Steinhardt-Bour, N.J., Soullier, B.A. et Zemel, M.B. Effect of level and form of phosphorus and level of calcium intake on zinc, iron and copper bioavailability in man. Nutr. Res., 4 : 371 (1984).

38. National Academy of Sciences. Recommended dietary allowances. 9e édition. National Academy Press, Washington, DC (1980).

39. Gibson, R.S., Martinez, O., et MacDonald, A.C. Available dietary iron intakes of a selected sample of pre- and post-menopausal Canadian women. Nutr. Res., 4 : 315 (1984).

40. Powell, L.W., Bassett, M.L. et Halliday, J.W. Hemochromatosis update. Gastroenterology, 78 : 374 (1980).

41. Weinberg, E.D. Iron and neoplasia. Biol. Trace Elem. Res., 3 : 55 (1981).

42. Dillman, E., Gale C., Green, W.E., Johnson, D.G. Mackler B. et Finch, C. Hypothermia in iron deficiency due to altered tricodothyronine metabolism. Am. J. Physio., 239(R) : 377 (1980).

43. Cohen, J.M., Lamphake, L.J., Harris, E.K. et Woodward, R.L. Taste threshold concentrations of metals in drinking water. J. Am. Water Works Assoc., 52 : 660 (1960).